

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination  
2009/2010 Academic Session

November 2009

**EKC 313 – Separation Process**  
***[Proses Pemisahan]***

Duration : 3 hours  
*[Masa : 3 jam]*

Please check that this examination paper consists of NINE pages of printed material and ONE page of Appendix before you begin the examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi SEMBILAN muka surat yang bercetak dan SATU muka surat Lampiran sebelum anda memulakan peperiksaan ini.]*

**Instruction:** Answer **FOUR (4)** questions. Answer any **TWO (2)** questions from Section A. Answer any **TWO (2)** questions from Section B. All questions carry the same marks.

**[Arahan:** Jawab **EMPAT** (4) soalan. Bahagian A pilih **DUA** (2) soalan sahaja. Bahagian B pilih **DUA** (2) soalan sahaja. Semua soalan membawa jumlah markah yang sama.]

In the event of any discrepancies, the English version shall be used.

*[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai].*

Section A : Answer any TWO questions.

Bahagian A: Jawab mana-mana DUA soalan.

1. [a] A forced draft countercurrent packed bed cooling tower is used to cool 5 kg/s of water from 45°C to 28°C. Ambient air at 25°C and 20% humidity is used as feed air for cooling. Estimate the minimum dry air flow rate required for the operation.

*Sebuah menara pendinginan lapisan terpadat aliran paksa secara berlawanan bebas paksa digunakan untuk mendinginkan 5 kg/s air dari 45°C ke 28°C. Udara persekitaran pada 25°C dan kelembapan 20% digunakan sebagai suapan untuk pendinginan. Anggarkan kadar aliran udara kering minima yang diperlukan untuk operasi tersebut.*

[7 marks/markah]

- [b] The air flow rate of 1.5 times the minimum is used. Estimate  
Kadar aliran udara 1.5 kali kadar minima digunakan. Anggarkan

[i] the enthalpy of air leaving the tower and  
entalpi udara yang keluar dari menara dan

[ii] the temperature of air leaving the tower if the percentage humidity is 70%.  
suhu udara yang keluar dari menara jika kelembapan peratus ialah 70%.

[10 marks/markah]

- [c] Calculate the height of the packing if height of transfer unit (HTU = 0.49m). The heat and mass transfer in the cooling process may be assumed to be gas film controlled.

*Kirakan ketinggian kepadatan jika tinggi unit pemindahan (HTU = 0.49m). Pemindahan haba dan jisim dalam proses pendinginan boleh diandaikan dikawal oleh saput gas.*

[8 marks/markah]

Saturation Enthalpy ( $H_s$ ) data for air/water system are given below

Data Entalpi tepu ( $H_s$ ) untuk sistem udara/air diberikan di bawah

T (°C)	25	30	35	40	45	50
$H_s$ (kJ/kg dry air) (kJ/kg udara kering)	77	99.6	129	166	213	274

$C_p$  water = 4.2 kJ/kg °C

$C_p$  air = 4.2 kJ/kg °C

2. [a] Explain what is meant by an isotherm in adsorption technology. Briefly discuss two models for adsorption isotherms and their limitations in application.

*Terangkan apa yang dimaksudkan dengan garis lengkung sesuhu dalam teknologi penjerapan. Bincangkan secara ringkas dua model untuk garis lengkung sesuhu penjerapan dan had penggunaan kedua-duanya.*

*[5 marks/markah]*

- [b] Determine the final equilibrium composition of the final solution if a solution of glucose with an initial solution of 20 cm<sup>3</sup> containing 0.08 g/cm<sup>3</sup> is treated with 115 g alumina.

*Tentukan komposisi keseimbangan akhir larutan akhir jika larutan glukosa dengan larutan awal 20 cm<sup>3</sup> yang mengandungi 0.08 g/cm<sup>3</sup> dirawat dengan 115 g alumina.*

*[10 marks/markah]*

The adsorption isotherm at 25°C for the system is given below.

*Lengkuk garis sesuhu penjerapan sistem pada 25°C diberikan di bawah.*

Concentration (C <sub>e</sub> ) of glucose in solution at equilibrium (g/cm <sup>3</sup> ) <i>Kepekatan (C<sub>e</sub>) glukosa dalam larutan pada keseimbangan (g/cm<sup>3</sup>)</i>	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.12	0.14	0.16	0.18	0.2
Adsorbed weight of glucose (q <sub>e</sub> ) on alumina at equilibrium (g glucose per g alumina) <i>Berat terjerap glukosa (q<sub>e</sub>) atas alumina pada keseimbangan (g glukosa per g alumina)</i>	0.0078	0.0101	0.0112	0.0119	0.0124	0.0127	0.0129	0.0131	0.0132	0.0133

- [c] A solution containing 0.2 g of glucose/cm<sup>3</sup> is passed through packed bed of alumina (115 g) at a flow-rate of 10 cm<sup>3</sup>/s. The breakthrough curve data obtained at 25°C are given below

*Suatu larutan yang mengandungi 0.2 g glukosa/cm<sup>3</sup> dialirkan melalui lapisan terpadat alumina (115 g) pada kadar aliran 10 cm<sup>3</sup>/s. Data lengkungan bulus yang diperoleh pada 25°C diberikan di bawah*

Concentration at the outlet C (g of glucose/cm <sup>3</sup> ) <i>Kepekatan di keluaran C</i> (g of glukosa/cm <sup>3</sup> )	0	0	0	0.01	0.025	0.05	0.07	0.1
t minutes <i>t minit</i>	0	10	20	30	40	50	60	70

Concentration at the outlet C (g of glucose/cm <sup>3</sup> ) <i>Kepekatan di keluaran C</i> (g of glukosa/cm <sup>3</sup> )	0.13	0.15	0.175	0.19	0.2	0.2	0.2	0.2
t minutes <i>t minit</i>	80	90	100	110	120	140	160	180

Plot the breakthrough curve and estimate the total capacity of the bed used break point and the fractional length of unused bed.

*Plotkan lengkungan bulus dan anggarkan jumlah muatan lapisan yang digunakan pada titik bulus dan panjang pecahan lapisan yang tidak digunakan.*

[10 marks/markah]

3. [a] Show that the variation of the temperature  $T_s$  with time  $t$  of  $M$  gram solids within a dryer having convective air flow as well as heat transfer by radiation, could be expressed as

*Tunjukkan perubahan suhu  $T_s$  dengan masa  $t$  bagi  $M$  gram pepejal dalam pengering dengan aliran udara secara olakan serta pemindahan haba secara sinaran boleh diungkapkan sebagai*

$$\frac{d(MC_p T_s)}{dt} = H \frac{dM}{dt} + Ah(T - T_s) + \sigma A(T_r^4 - T_s^4)$$

where  $C_p$ = specific heat of solids,  $H$ = latent heat of evaporation of moisture,  $h$ = convective heat transfer coefficient on the surface of solids,  $T$ =temperature of air,  $T_r$ =temperature of the heating surface,  $A$ = exposed surface area of the solids,  $\sigma$ =constant.

Explain each term of the above equation . List all assumptions made.

*dimana  $C_p$  = haba tentu pepejal,  $H$  = haba pendam penyejatan lembapan,  $h$  = pekali pemindahan haba olakan pada permukaan pepejal,  $T$  = suhu udara,  $T_r$  = suhu permukaan pemanas,  $A$  = luas permukaan terdedah bagi pepejal,  $\sigma$  = pemalar.*

[10 marks/markah]

- [b] Using the above equation, show that under constant rate conditions the drying rate could be expressed as  $\frac{Ah(T - T_s)}{H}$  under negligible radiation.

...5/-

Dengan menggunakan persamaan di atas, tunjukkan bahawa di bawah keadaan kadar malar, kadar pengeringan boleh diungkapkan sebagai  $\frac{Ah(T - T_s)}{H}$ , radiasi diabaikan.

[5 marks/markah]

- [c] Describe what parameters of air and air flow could influence the constant rate in the above model.

*Huraikan parameter udara dan aliran udara yang boleh mempengaruhi kadar malar dalam model di atas.*

[5 marks/markah]

- [d] Explain why the above equation is not accurate for the falling rate period.

*Terangkan kenapa persamaan di atas adalah tidak tepat untuk tempoh kadar jatuh.*

[5 marks/markah]

Section B : Answer any TWO question.

Bahagian B : Jawab mana-mana DUA soalan.

4. [a] In general, derive the equation to calculate the steady state flux,  $N_A$  in a liquid permeation process with a membrane. Also, show the equations representing the resistances of the liquid films and the membrane.

*Secara umum, terbitkan persamaan untuk mengira fluks dalam keadaan mantap,  $N_A$  dalam proses penelapan cecair menerusi membran. Tunjukkan juga persamaan yang mewakili rintangan saput cecair dan rintangan membran.*

[8 marks/markah]

- [b] A feed solution of NaCl concentration 3500 mg/L (density = 999.5 kg/m<sup>3</sup>) at 25°C is passed through a reverse osmosis membrane. The solvent permeability constant is  $3.50 \times 10^{-4}$  kg solvent/s.m<sup>2</sup>.atm and the solute permeability constant is  $2.50 \times 10^{-7}$  m/s. Using  $\Delta P$  equal to 35.5 atm, calculate:

*Larutan suapan NaCl berkepekatan 3500 mg/L (ketumpatan = 999.5 kg/m<sup>3</sup>) pada 25°C dialirkan menerusi membran osmosis terbalik. Pemalar kebolehtelapan pelarut ialah  $3.50 \times 10^{-4}$  kg pelarut/s.m<sup>2</sup>.atm dan pemalar kebolehtelapan bahan larut ialah  $2.50 \times 10^{-7}$  m/s. Dengan menggunakan  $\Delta P$  35.5 atm, kirakan:*

- [i] Flux of solvent.

*Fluks pelarut.*

[6 marks/markah]

- [ii] Solute rejection.

*Penolakan bahan larut.*

[4 marks/markah]

- [iii] Product solution concentration and flux of solute.

*Kepekatan larutan produk dan fluks bahan larut.*

[2 marks/markah]

Note : Molecular weight NaCl is 58.45.

*Nota : Berat molekul NaCl ialah 58.45.*

- [c] Describe the phenomena of concentration polarization and fouling in the membrane processes using a sketch.

*Dengan menggunakan lakaran, huraikan fenomena kekutuban kepekatan dan kotoran di dalam proses membran.*

[5 marks/markah]

5. [a] [i] Derive the equation to determine the sphericity factor,  $\psi$  for a cubic-type lattice particle.

*Terbitkan persamaan untuk menentukan faktor kesferaan,  $\psi$  untuk partikel kekisi berbentuk kiub.*

[5 marks/markah]

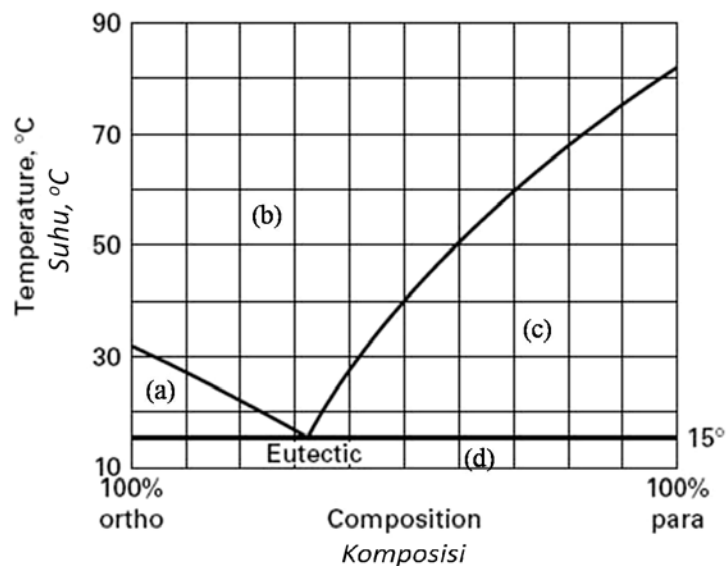
- [ii] Estimate the value of sphericity of a cube of dimension  $x$  on each side.

*Anggarkan nilai kesferaan sebuah kiub yang mempunyai dimensi  $x$  bagi setiap sisi.*

[2 marks/markah]

- [b] The solubility diagram below describes the eutectic-forming system of ortho-nitrobenzene and parachloro-nitrobenzene system suitable for melt crystallization.

*Gambarajah keterlarutan di bawah menerangkan sistem pembentukan eutektik ortho-nitrobenzena dan parakloro-nitrobenzena yang sesuai bagi pengkristalan leburan.*



- [i] What are the phases for area (a), (b), (c) and (d) respectively?

*Apakah fasa (a), (b), (c) dan (d)?*

[4 marks/markah]

- [ii] If the mixture of 70.0 wt% parachloro-nitrobenzene and 30.0 wt% ortho-nitrobenzene is cooled down to 13.8°C, what will happen to the mixture?

*Jika campuran 70% berat parakloro-nitrobenzena dan 30% berat orto-nitrobenzena disejukkan ke 13.8°C, apakah akan terjadi kepada campuran tersebut?*

[2 marks/markah]

- [c] Para-dichlorobenzene (PDCB) melts at 53°C, while ortho-dichlorobenzene (ODCB) melts at -17.6°C. They form a eutectic mixture of 87.5 wt% of the ortho isomer at -23°C. The normal boiling points of these two isomers differ by 5°C. A mixture of 80 wt% of para isomer at the saturation temperature of 43°C is fed to the top of a falling-film crystallizer, where coolant enters at 15°C. If a 8-cm I.D. tubes are used, determine the time for the crystal layer thickness at the top of the tube to reach 2 cm. Which isomer will crystallize?

*Para-diklorobenzena (PDCB) lebur pada 53°C, manakala orto-diklorobenzena (ODCB) mencair pada -17.6°C. Kedua-duanya membentuk campuran eutektik 87.5% berat ortho isomer pada -23°C. Takat didih normal untuk kedua-dua isomer berbeza sebanyak 5°C. Satu campuran 80% berat para isomer pada suhu tepu 43°C disuap di bahagian atas penghablur saput-jatuh, yang mana penyejuk masuk pada 15°C. Jika tiub-tiub 8-cm I.D. digunakan, tentukan masa untuk ketebalan lapisan kristal di bahagian atas tiub mencapai 2 sm. Isomer manakah yang akan menghablur?*

*Notes:* The isomer that would be crystallized will have  $\rho_c = 1.458 \text{ g/cm}^3$ ,  $\Delta H_f = 29.67 \text{ cal/g}$  and  $k_c = 0.00062 \text{ cal/s.cm.}^\circ\text{C}$

*Nota :* Isomer yang akan menghablur mempunyai  $\rho_c = 1.458 \text{ g/cm}^3$ ,  $\Delta H_f = 29.67 \text{ cal/g}$  dan  $k_c = 0.00062 \text{ cal/s.cm.}^\circ\text{C}$

[12 marks/markah]

6. [a] [i] Sketch in general a phase diagram of supercritical fluid system.

*Secara am, lakarkan gambarajah fasa sistem bendalir lampau genting.*

[4 marks/markah]

- [ii] Discuss the main factors to select a suitable supercritical fluid for the extraction purposes in industry.

*Bincangkan faktor utama untuk memilih bendalir lampau genting yang sesuai untuk kegunaan pengekstrakan dalam industri.*

[6 marks/markah]

- [b] Data for the filtration of calcium carbonate slurry in water at 298.2 K are reported in Table Q.6.[b] at a constant pressure drop ( $-\Delta p$ ) of 46.2 kN/m<sup>2</sup>. The area of the plate-and-frame press is 0.0439 m<sup>2</sup> and the slurry concentration is 23.47 kg solid/m<sup>3</sup> filtrate. Data are given as  $t$  = time in s and  $V$  = volume of filtrate collected in m<sup>3</sup>.

*Data penurasan buburan kalsium karbonat dalam air pada 298.2 K dilaporkan dalam Jadual S.6.[b] pada kejatuhan tekanan malar ( $-\Delta p$ ) 46.2 kN/m<sup>2</sup>. Luas penekan plat-dan-kerangka ialah 0.0439 m<sup>2</sup> dan kepekatan buburan ialah 23.47 kg pepejal/m<sup>3</sup> bahan turas. Data diberi sebagai  $t$  = masa dalam s dan  $V$  = isipadu bahan turas terkumpul dalam m<sup>3</sup>.*

$V \times 10^3$	$t$	$V \times 10^3$	$T$	$V \times 10^3$	$t$
0.5	17.3	1.5	72.0	2.5	152.0
1.0	41.3	2.0	108.3	3.0	201.7

Table Q.6.[b]  
Jadual S.6.[b]

- [i] Calculate the specific cake resistance,  $\alpha$  and the filter medium resistance,  $R_m$ .

*Kirakan rintangan tentu kek turas,  $\alpha$  dan rintangan penuras,  $R_m$ .*

[6 marks/markah]

- [ii] If the above slurry is to be filtered in a plate-and-frame press having 30 frames and 0.873 m<sup>2</sup> area per frame at the same pressure drop of 46.2 kN/m<sup>2</sup> (constant-pressure filtration), assume the same filter-cake properties and filter cloth, calculate the time to recover 2.26 m<sup>3</sup> of filtrate.

*Jika buburan di atas dituras dalam penekan plat-dan-kerangka yang mempunyai 30 kerangka dan luas per kerangka 0.873 m<sup>2</sup> pada kejatuhan tekanan yang sama 46.2 kN/m<sup>2</sup> (penurasan tekanan-malar), anggapkan ciri-ciri kek turas dan kain turas yang sama, kira masa untuk pemulihan 2.26 m<sup>3</sup> bahan turas.*

[4 marks/markah]

- [iii] From answer obtained from the previous question [ii] for a recovery of 2.26 m<sup>3</sup> of filtrate at calculated time of  $t$ , calculate the time of washing and the total filter-cycle time if cleaning of the filter takes 15 minutes. The cake is to be washed by through-washing using a volume of wash water equal to 10% of filtrate.



*Daripada jawapan diperolehi dari soalan [ii] bagi pemulihan  $2.26 \text{ m}^3$  bahan turas dalam tempoh masa  $t$  yang dikira, kira masa untuk membasuh dan jumlah masa kitar-penuras jika pembersihan penuras mengambil masa 15 minit. Kek turas dibasuh dengan basuhan-lalu menggunakan isipadu air bersamaan 10% dari bahan turas.*

*[5 marks/markah]*

- 000 O 000 -

Appendix

*Osmotic Pressure of Various Aqueous Solutions at 25°C (P1, S3, S5)*

<i>Sodium Chloride Solutions</i>			<i>Sea Salt Solutions</i>		<i>Sucrose Solutions</i>	
$\frac{g \text{ mol NaCl}}{kg \text{ H}_2\text{O}}$	<i>Density</i> (kg/m <sup>3</sup> )	<i>Osmotic Pressure</i> (atm)	<i>Wt %</i> <i>Salts</i>	<i>Osmotic Pressure</i> (atm)	<i>Solute Mol. Frac.</i> $\times 10^3$	<i>Osmotic Pressure</i> (atm)
0	997.0	0	0	0	0	0
0.01	997.4	0.47	1.00	7.10	1.798	2.48
0.10	1001.1	4.56	3.45*	25.02	5.375	7.48
0.50	1017.2	22.55	7.50	58.43	10.69	15.31
1.00	1036.2	45.80	10.00	82.12	17.70	26.33
2.00	1072.3	96.2				

\* Value for standard seawater.

Equation for rate of heat conduction in the falling-film crystallizer ( $r_s = r_i$  at  $t = 0$ ).

$$\left( \frac{r_i - r_s}{2} \right)^2 = k_c \frac{(T_m - T_c)t}{\rho_c \Delta H_f}$$

Water viscosity at 298.2 K =  $8.937 \times 10^{-4}$  kg/m.s.

Energy conversion:

1 cal = 4.184 J

1 J = 1 Nm = 1 kgm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>